

УДК 597-15

doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.445-460

**СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ СУДАКА  
*Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) КУЙБЫШЕВСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА (2000–2018 гг.)**

*В.Г. Терещенко*<sup>1</sup>, *Ф.М. Шакирова*<sup>2</sup>, *В.З. Латыпова*<sup>3,4</sup>,  
*Н.Ю. Степанова*<sup>3</sup>, *О.К. Анохина*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, 152742, Россия

<sup>2</sup>Татарский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Казань, 420111, Россия

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

<sup>4</sup>Институт проблем экологии и недропользования Академии наук РТ,  
г. Казань, 420087, Россия

**Аннотация**

Проведена оценка состояния популяции судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) в Куйбышевском водохранилище, где он является самым многочисленным хищным видом рыб. Мониторинг охватывает период 2000–2018 гг. и основан на анализе изменений структурно-функциональных характеристик популяции: динамики численности популяции и её генераций, изменениях в возрастной структуре, скорости роста, смертности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что с 2000 по 2007 г. популяция судака находилась в состоянии равновесия при небольшой вариабельности численности. В 2007 г. отмечена критическая точка в функционировании популяции. Затем начался её переход в состояние равновесия с более высокой численностью, в котором она остается и в настоящее время. Индекс благополучия популяции в выявленных состояниях равновесия за 20 лет не изменился. Однако в последнее десятилетие наметились и негативные тенденции: возросла промысловая нагрузка и стала относительно меньше доля старшевозрастных рыб в уловах. Подход, использованный при проведении данного исследования, может быть положен в основу оценки состояния популяций рыб, разработки мероприятий по рациональному освоению их запасов в условиях нестабильного гидрологического режима водохранилищ и ослабления контроля над промыслом в охране рыбных ресурсов.

**Ключевые слова:** судак (*Sander lucioperca*), Куйбышевское водохранилище, популяция, динамика, структура, мониторинг состояния

Известно, что экосистема водохранилищ функционирует в условиях замедленного водообмена и интенсивного его регулирования. Дополнительно после ее становления и адаптации гидробионтов к новым условиям среды наступает период дестабилизации [1] при росте антропогенной нагрузки. В связи с этим особую роль приобретает расширение сети мониторинга за состоянием их водных и биологических ресурсов.

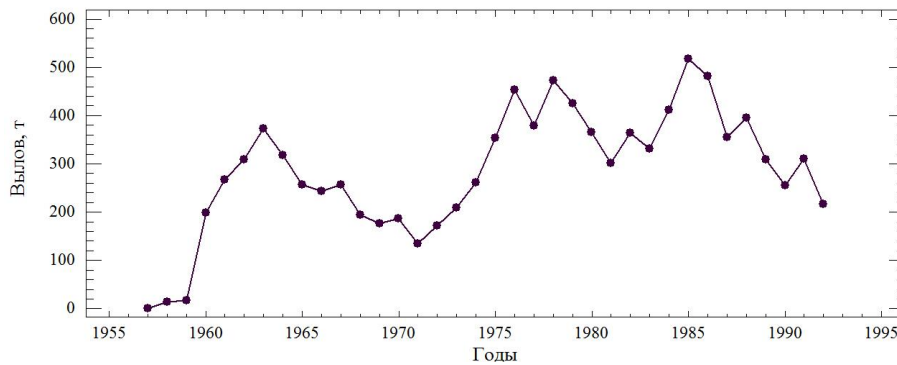


Рис. 1. Динамика вылова судака в Куйбышевском водохранилище

Хищные виды рыб, находясь на верхнем трофическом уровне, наиболее рельефно аккумулируют изменения в экосистеме. При этом у них идут изменения как на организменном, так и на популяционном уровнях.

Судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) как амфибореальный вид широко распространен с севера на юг от озер Карелии до водоемов Казахстана и с запада на восток от разных по морфо-гидрологическим свойствам водоемов Европы [2] до водоемов Туркменистана [3], чему способствовала также массовая его интродукция [4]. В самом крупном водохранилище Европы – Куйбышевском – он в настоящее время – самый многочисленный вид хищных рыб [5, 6]. Судак по классификации МСОП относится к группе LC, то есть не вызывающий опасение. В Средней Волге исходная его популяция была малочисленной. Однако благодаря высокой экологической пластичности после создания водохранилища, судя по уловам [7–10], численность судака постепенно увеличилась (рис. 1) и улучшались его биологические показатели [5, 11]. Это позволяет рассматривать данный вид как модельный для оценки состояния пресноводных экосистем.

Цель настоящей работы – оценка состояния наиболее многочисленного вида хищных рыб Куйбышевского водохранилища – судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) за период 2000–2018 гг.

### Материал и методика

Объем исследованного материала составляет 6978 экз. рыб, ежегодно от 340 до 808 экз. (см. табл. 1). Сбор материала проводили в период с 2000 по 2018 г. Данные для анализа собирались на всей акватории Куйбышевского водохранилища. Отлов осуществляли на многолетних станциях контрольного лова Татарского отделения ГосНИОРХ (ныне Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО») сетями с ячейей 36–90 мм [6]. Поскольку материал собирался в течение всех лет на стандартных станциях (рис. 2), биотопная вариабельность отсутствует, и мы вправе анализировать многолетние изменения в популяции. Возраст рыб определяли по стандартной методике – по чешуе и спилам плавников [12].

Анализ состояния популяции базировался на классических теоретических представлениях [13, 14] и современных разработках по динамике численности популяций рыб [15–19].

Табл. 1

Объем исследованного материала по судаку, экз.

Год	Количество экз.	Год	Количество экз.
2000	341	2010	340
2001	808	2011	341
2002	340	2012	342
2003	348	2013	348
2004	354	2014	340
2005	345	2015	341
2006	342	2016	342
2007	341	2017	340
2008	340	2018	343
2009	342		

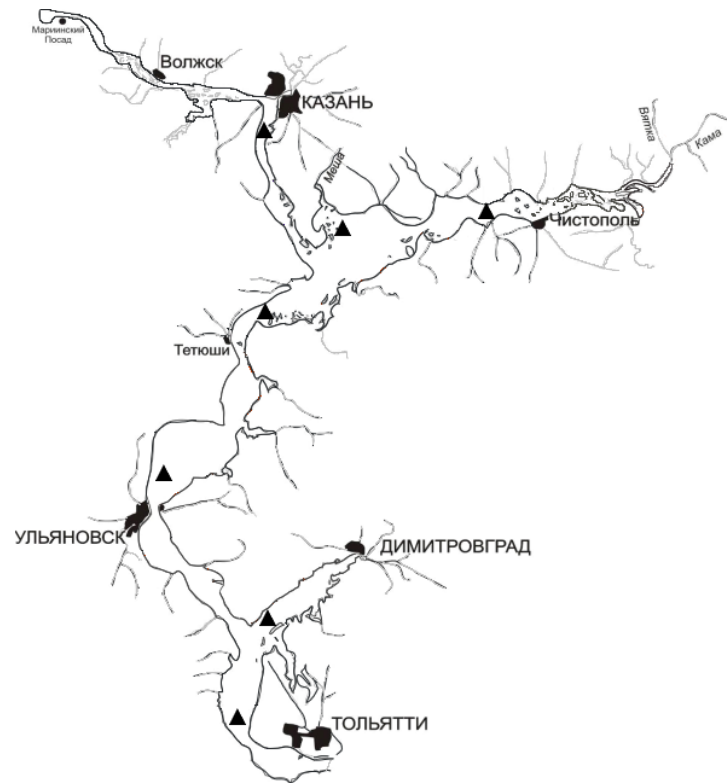


Рис. 2. Карта-схема Куйбышевского водохранилища и расположение ихтиологических станций, ▲ – место отбора проб

Состояние популяций рыб может быть благополучным или критическим, устойчивым или нет. Это зависит от множества параметров, которые характеризуют ее функционирование и изменяются во времени. Основными из них можно считать численность, скорость линейного роста, возрастную и половую структуры, коэффициенты плодовитости и смертности. Путем сравнения этих параметров в разные периоды времени можно заключить, находится ли популяция в равновесном состоянии или идут изменения в сторону улучшения или ухудшения.

Главные критерии состояния популяции – численность особей и ее динамика во времени. В оптимальных условиях численность популяции максимальна и уменьшается по мере ухудшения условий обитания.

«Численность особей регулируется равновесием между двумя противоположными тенденциями, присущими популяции: потенциалом роста и ограничениями, накладываемыми на этот рост средой. Способность среды поддерживать вид варьирует в зависимости от климата и наличия ресурсов, а, следовательно, таким же образом варьирует и равновесная плотность популяции данного вида» [20, с. 237].

Относительная численность популяции определялась отношением величины улова к количеству поставленных сетей. Чтобы выяснить, находится ли популяция в равновесном состоянии и когда произошел переход системы из одного состояния в другое, анализировали фазовый портрет динамики численности популяции [16]. Методика построения фазовых портретов реальных биологических систем подробно описана ранее [17, 21]. Преимущество метода фазового портрета состоит в том, что он позволяет рассматривать не только динамику важного параметра сообщества или популяции, но и скорость его изменения. Такой подход показал свою эффективность при изучении как отдельных популяций [18, 19, 22], так и сообществ рыб [17, 19, 23]. Здесь же отметим, что для анализа популяций рыб рассматривали изменения в координатах  $N$  и  $dN/dt$ , где  $N$  – относительная численность (улов на сеть, кг),  $dN/dt$  – скорость ее изменения, кг/год. При построении фазового портрета реальных популяций или сообществ является критичным предварительное сглаживание первичных данных анализируемого показателя, что необходимо для уменьшения влияния случайных флуктуаций. Для этого весь временной интервал наблюдений разбивали на 500 отрезков и параболическим окном аппроксимировали и интерполировали исходные данные. Последняя операция позволяет также снизить погрешность оценки скорости изменения параметра. Данные для построения динамического портрета подготавливали с помощью оригинальной программы Phase 1.0, разработанной кандидатом физико-математических наук А.О. Мострюковым (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва), а строили в стандартном пакете Grapher (9.6). Дополнительно была создана программа Phase 1.1, в которой сглаживание исходных данных проводили методом кубического сплайна. Как показал наш опыт, сглаживание кубическим сплайном дает неплохие результаты, хотя на границах интервала исследования первый метод сглаживания данных работает лучше.

Еще одними из важных показателей состояния популяции рыб считаются линейный рост и увеличение массы тела особей [24]. Как и численность, данные показатели достигают своих максимальных значений при условиях, оптимальных для популяции в целом.

Изменение темпа роста – важнейший приспособительный механизм ответа популяции рыб на изменение обеспеченности пищей путем перестройки темпа размножения, интенсивности и характера потребления кормов. Для оценки темпа роста популяции судака взяты многолетние данные средних размеров одновозрастных особей.

Кроме того, информацию о состоянии популяции несут и такие ее параметры, как возрастная структура. Известно, что при увеличении промысловой нагрузки и уменьшении численности популяции рыб в возрастной ее структуре наблюдаются сокращение числа возрастных групп, уменьшение максимального возраста и омоложение модального возрастного класса рыб. При запуске же рыболовства в годы Великой Отечественной войны происходили обратные изменения структуры промысловых популяций рыб [13, 14] и др.

Анализ изменений в возрастной структуре популяции основан на сравнении по критерию Стьюдента доли в улове соответствующих возрастных групп в различных состояниях равновесия популяции. Уровень значимости различий брали равным 0.1 или 0.05, что связано с небольшим числом лет нахождения популяции в равновесном состоянии и, соответственно, с небольшим числом повторов для статистического анализа.

Ведущая роль состояния популяции связана с оценкой величины ее смертности и пополнения, что обусловлено условиями нереста и определяет вступление в промысел высоко- и малочисленных поколений. Расчет их численности основан на непрерывном ряде возрастной структуры за длительный период. При неполной исходной информации применяли модификацию стандартного биостатистического метода [15].

Анализ возрастной структуры требует присутствия в каждой возрастной группе не менее 10 особей. При недостатке материала данные разных лет объединяются при условии не изменения популяцией состояния равновесия, находящего на основании ее фазового портрета [17, 21].

Все расчеты и графики, кроме рис. 2, выполнены в стандартном статистическом пакете STATGRAPHICS Plus 5.1.

### Результаты и их обсуждение

**Численность популяции судака** с 2000 по 2007 г. варьировала в пределах значений, соответствующих равновесному состоянию, при котором показатели улова составили 0.04 кг на сеть (рис. 3). В эти годы траектория ее движения на динамическом фазовом портрете имеет вид циклической кривой, то есть судак находился в состоянии равновесия при небольшой вариабельности улова ( $CV = 15\%$ ). В 2007 г. отмечена критическая точка в функционировании популяции и далее начался ее переход в состояние равновесия со средним уловом 0.12 кг/сеть, в этом состоянии популяция остается и в настоящее время. По критерию Стьюдента при уровне значимости  $p = 0.05$  численность популяции судака в период 2011–2018 гг. достоверно превышает ее в начале 2000-х годов. Межгодовая вариабельность улова возросла ( $CV = 20\%$ ). По  $F$ -критерию при уровне значимости  $p = 0.05$  вариабельность численности популяции судака в период 2011–2018 гг. достоверно возросла по сравнению с периодом начала 2000-х годов. Это, вероятно, связано с появлением нескольких урожайных поколений и увеличением вариабельности пополнения популяции в последнее десятилетие.

Таким образом, поскольку в последнее десятилетие популяция судака находится в равновесном состоянии с численностью, превышающей состояние в начале 2000-х годов, по данному популяционному показателю ее состояние стабильно улучшилось по сравнению с состоянием, в котором популяция находилась ранее.

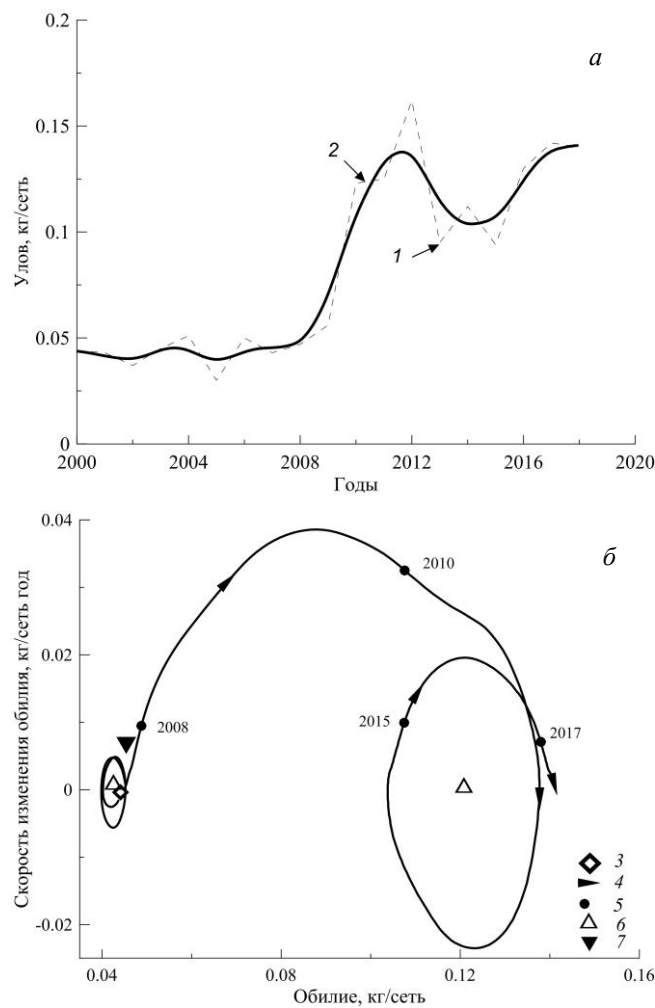


Рис. 3. Динамика численности популяции судака Куйбышевского водохранилища (а) и ее динамический фазовый портрет (б): 1 – исходные данные; 2 – сглаженные данные; 3 – начальное состояние, 4 – направление перемещения; 5 – состояние популяции в год, обозначенный цифрой у кривой; 6 – устойчивое состояние; 7 – критическая точка в функционировании

**Линейный рост.** Для сравнения линейного роста последних лет в качестве реперного взят третий этап формирования ихтиофауны, соответствующий изменениям в экосистеме за 1960–1965 гг. [25, 26]. В этот период стабилизировались видовой состав и соотношение численности видов. Уровень воспроизводства и смертности находились в динамическом равновесии. По сравнению с предыдущим этапом улучшается рост рыб, сократилось время полового созревания, приближаясь к таковым в речных условиях, повысилась индивидуальная плодовитость [1]. Как линейный рост, так и увеличение массы тела судака в 2010 и 2018 г. были сходны с таковыми в 1960 г., а в 2000 г. эти показатели были ниже (рис. 4, 5). Следовательно, судя по динамике данных параметров, популяция судака в водоеме в настоящее время находится в благоприятном состоянии.

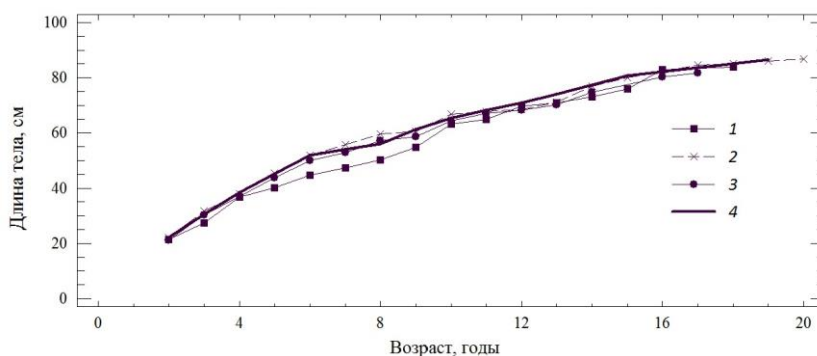


Рис. 4. Линейный рост судака Куйбышевского водохранилища в разные периоды: 1 – 2000 г.; 2 – 2010 г.; 3 – 2018 г.; 4 – 1960 г. по [27]

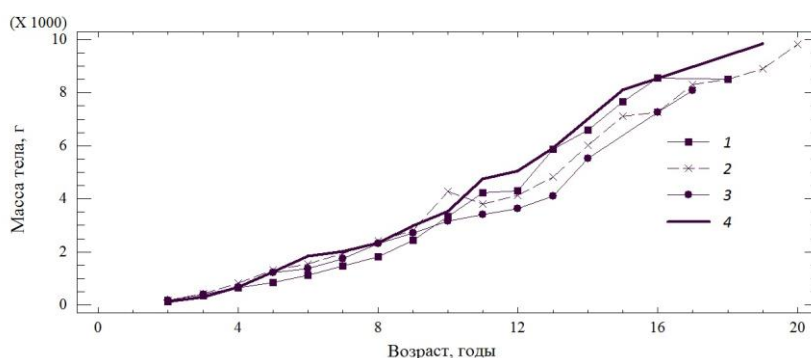


Рис. 5. Увеличение массы тела судака Куйбышевского водохранилища в разные периоды: 1 – 2000 г.; 2 – 2010 г.; 3 – 2018 г.; 4 – 1960 г. по [27]

**Возрастная структура.** Анализ динамики численности популяции судака выявил периоды ее нахождения в равновесных состояниях (рис. 3), что позволяет корректно объединять данные возрастной структуры в периоды исследований (рис. 6).

У рыб в возрасте 12+...20+ различий в возрастной структуре двух равновесных состояний популяции не отмечено (рис. 6). Пятилеток и шестилеток относительно больше было в последнее десятилетие. Так, сравнение относительной численности шестилеток по критерию Стьюдента показало, что при уровне значимости  $p = 0.1$  их было достоверно больше, чем в начале 2000-х годов. А рыб в возрасте 8+...12+, в частности девятилеток, в начале 2000-х годов было достоверно больше, чем в 2010-х годах, при уровне значимости  $p = 0.05$ . Известно, что увеличение промысловой нагрузки приводит к уменьшению в популяции рыб старших возрастных групп, а запуск промысла – к их увеличению [13, 14]. Поэтому по данному популяционному показателю судак Куйбышевского водохранилища в последнее десятилетие испытывает увеличение промысловой нагрузки, коэффициент промысловой смертности популяции стал больше по сравнению с периодом начала 2000-х годов. И состояние популяции в настоящее время оценивается как ухудшающееся.

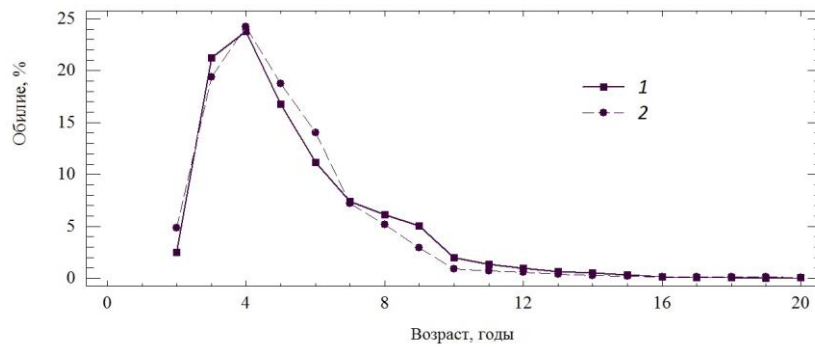


Рис. 6. Равновесная возрастная структура популяции судака Куйбышевского водохранилища в периоды: 1 – 2000–2007 гг.; 2 – 2011–2018 гг.

Оценка численности поколений судака на основе модифицированной методики убыли отлова [15] базируется на информации о равновесной возрастной структуре популяции в период исследования. Для этого проводили усреднение данных за 2000–2018 гг. (рис. 7). В Куйбышевском водохранилище основная масса рыб созревает в пятилетнем возрасте [28], что соответствует промысловой мере судака Куйбышевского водохранилища, равной 40 см.

Аппроксимацию относительной численности младших возрастных групп проводили полиномом второй степени:

$$T = 2-5 \text{ лет: } \ln N = -2.67804 + 1.26647 \cdot T - 0.31631 \cdot T^2 \quad (R^2 = 90.1\%),$$

где  $\ln N$  – натуральный логарифм процентного соотношения возрастной группы,  $T$  – возраст, годы.

Поскольку коэффициент смертности рыб зависит от возраста [29], то исходя из угла наклона кривой (рис. 6), можно заключить, что смертность судака в водоеме в возрасте 6–9 лет меньше, чем у более старших особей. На основе линейного регрессионного анализа установлено, что если коэффициент смертности судака в возрасте 6+...9+ составляет  $0.37 \pm 0.038$ , то в возрасте 9+...16+ он уже равен  $0.43 \pm 0.03$ . Поэтому для описания численности более старших возрастных групп взяты следующие линейные функции:

$$T = 6-9 \text{ лет: } \ln N = 4.72061 - 0.376149 \cdot T \quad (R^2 = 97\%),$$

$$T = 9-16 \text{ лет: } \ln N = 4.88292 - 0.431663 \cdot T \quad (R^2 = 96.2\%),$$

$$T = 17-20 \text{ лет: } \ln N = -0.33349 - 0.129644 \cdot T \quad (R^2 = 97\%).$$

Согласно коэффициенту детерминации ( $R^2$ ) полученные модели описывают 90–97%-ными изменениями относительной численности особей с возрастом. Средняя абсолютная ошибка модели составляет 0.05–0.17, что указывает на хорошую аппроксимацию возрастной структуры судака. Для оценки численности поколений рыб необходимы данные минимум за 4 года [15]. Установлено что поколения судака, появившиеся в 1999, 2000 гг., были малочисленными, в 1992, 1993, 1996, 1997, 2001 гг. – высокими по численности, а остальные – средними (рис. 8). Эти результаты согласуются с данными оценки численности молоди судака [30], что говорит об адекватности примененного метода.



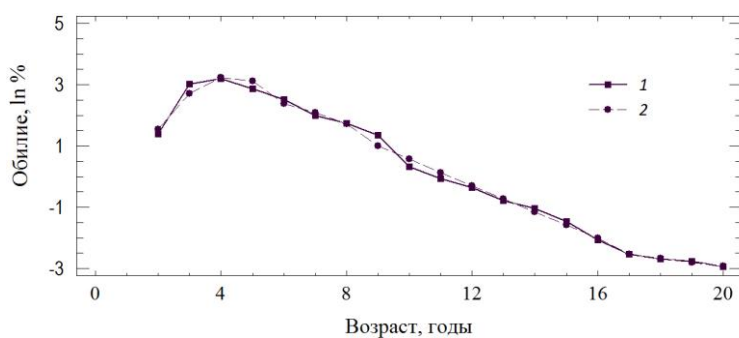


Рис. 7. Усредненная возрастная структура популяции судака Куйбышевского водохранилища за 2000–2018 гг. (1) и аппроксимирующая функция равновесной возрастной структуры (2)

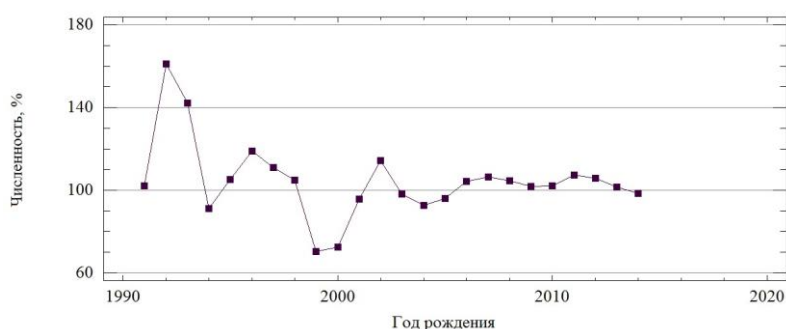


Рис. 8. Относительная численность особей в поколениях судака Куйбышевского водохранилища 1992–2018 гг. рождения

### Оценка состояния популяции судака

Прежде всего необходимо отметить, что популяция любого длинноциклового вида, к которым относится и судак, — инерционная система. Поэтому и ее состояние изменяется сравнительно медленно, через относительно длительный период. Анализ динамики численности судака показал, что в период 2000–2007 гг. популяция находилась в состоянии с меньшей численностью, а далее перешла в новое состояние и в период 2011–2018 гг. уже находилась в равновесном состоянии, с большей численностью популяции. Поэтому рассмотрим и оценим состояние популяции судака в периоды 2000–2007 гг. и 2011–2018 гг.

Объединение разнородных популяционных показателей основано на трехбальной шкале (0, 1, 2). Тогда состояние популяции можно представить точкой в многомерном признаковом пространстве, положение которой в начале координат (0) соответствует крайне неблагоприятному состоянию популяции, а чем больше координаты конца вектора отклоняются от начала координат, тем лучше состояние популяции.

При экспертной оценке состояния популяции судака (табл. 2) особое внимание уделено оценке по таким биологическим показателям, как численность популяции, линейный рост, возрастная структура, смертность. В оптимальном случае по каждому популяционному показателю состояние популяции может быть оценено как 2. Тогда при нормировании суммы показателей на максимальное значение этой суммы можно получить индекс благополучия популяции.

Табл. 2

Экспертная оценка состояния популяции судака Куйбышевского водохранилища

Показатель	Значение показателя в годы	
	2000–2007	2011–2018
Численность популяции	1	2
Темп линейного роста	1	2
Темп роста массы тела	2	1
Возрастная структура, % рыб в возрасте 7+...12+	2	1
Смертность в возрасте 7+...12+	2	1
Кормовая база	1	2
Индекс благополучия популяции	0.79	0.79

В последнее десятилетие популяция судака находится в равновесном состоянии с численностью, превышающей состояние в начале 2000-х годов. Тогда по данному популяционному показателю ее состояние в начале 2000-х годов может быть оценено в 1 балл, а в последнее десятилетие – как 2 балла.

Линейный рост судака в 2010 и 2018 гг. был сходен с таковым в оптимальном для популяции 1960 г., а в 2000 г. он был хуже. Увеличение массы тела судака в возрасте старше 10+ в последнее десятилетие замедлилось. Следовательно, по линейному росту состояние популяции судака можно оценить в начале 2000-х годов в 1 балл, а в последнее десятилетие в 2 балла. По скорости увеличения массы старшевозрастных особей наоборот – 2 и 1. На основании информации о возрастной структуре можно заключить, что судак Куйбышевского водохранилища в последнее десятилетие испытывает увеличение промысловой нагрузки, коэффициент промысловой смертности популяции стал выше по сравнению с периодом начала 2000-х годов. Состояние популяции в настоящее время можно оценить в 1 балл, тогда как десятилетие назад его можно оценить в 2 балла.

### Заключение

В работе применен новый подход к охране рыбных ресурсов, базирующийся не на прогнозе уловов, как это было принято ранее, а на мониторинге состояния популяций рыб. Анализ изменений структурно-функциональных характеристик популяции опробован на наиболее многочисленном хищнике Куйбышевского водохранилища – судаке – по данным за период 2000–2018 гг. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что индекс благополучия популяции за 20 лет не изменился. Однако в последние десятилетия наметились негативные тенденции: возросла промысловая нагрузка на популяцию и доля старшевозрастных особей в уловах стала относительно меньше.

Результаты могут быть положены в основу оценки состояния популяций рыб, разработки мероприятий, способствующих рациональному освоению запасов рыб в условиях зарегулированного гидрорежима водохранилищ и ослабления контроля над промыслом в стратегии охраны рыбных ресурсов.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность кандидату физико-математических наук А.О. Мострюкову (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта

РАН, г. Москва) за разработку программ подготовки данных для построения динамического фазового портрета реальной популяции и сообщества гидробионтов Phase 1.0 и Phase 1.1.

Исследование осуществлено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-44-160023.

#### Литература

1. *Kuznetsov V.A.* Change of the ecosystem of the Kuibyshev Reservoir in the process of its formation // *Water Res.* – 1997. – V. 24, No 2. – P. 228–233.
2. *Vašek M., Kubečka J., Čech M., Draštík V., Matěna J., Mrkvička T., Peterka J., Prchalová M.* Diel variation in gillnet catches and vertical distribution of pelagic fishes in a stratified European reservoir // *Fish. Res.* – 2009. – V. 96, No 1. – P. 64–69. – doi: 10.1016/j.fishres.2008.09.010.
3. *Shakirova F.M.* Present-day condition of ichthyofauna in reservoirs of Turkmenistan // Zonn I., Kostianoy A. (Eds.) *The Turkmen Lake Altyn Asyr and Water Resources in Turkmenistan. The Handbook of Environmental Chemistry*, V. 28. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2014. – P. 233–259.
4. *Карневич А.Ф.* Теория и практика акклиматизации водных организмов. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 432 с.
5. *Кузнецов В.А., Григорьев В.Н., Галанин И.Ф., Кузнецов В.В.* Промыслово-биологическая характеристика судака *Sander lucioperca* в верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища // *Изв. Сам. науч. центра РАН.* – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 1894–1897.
6. *Анохина О.К., Говорков В.И., Горшков М.А., Ахметзянов Д.Р., Говоркова Л.К.* Современное состояние водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища // *Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования: Материалы докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Татарского отд-ния ГОСНИОРХ.* – Казань, 2016. – С. 59–64.
7. *Ковалева М.П.* Уловы и рыбопродуктивность водохранилищ СССР // *Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов.* – Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1972. – Вып. 11. – С. 38–46.
8. *Лузанская Д.И.* Промышленное рыболовство в озерах, реках и водохранилищах СССР в 1959–1966 гг. // *Изв. Гос. науч.-исслед. ин-та озерного и речного рыбного хозяйства.* – 1970. – Т. 70: Вопросы экономики государственного и колхозного рыболовства в водохранилищах, озерах и реках. – С. 3–137.
9. *Шимановская Л.Н., Чистобаева Р.Я., Танасийчук Л.Н., Новикова Г.А.* Рыбохозяйственное освоение внутренних водоемов СССР в 1971–1975 гг. // *Изв. Гос. науч.-исслед. ин-та озерного и речного рыбного хозяйства.* – 1977. – Т. 126: Состояние рыбного хозяйства внутренних водоемов и методы прогнозирования рыбных запасов. – С. 3–62.
10. *Karpova E.I., Petr T., Isaev A.I.* Reservoir Fisheries in the Countries of the Commonwealth of Independent States: *FAO Fisheries Circular No. 915.* – Rome: FAO, 1996. – 131 p.
11. *Хузеева Л.М.* Биология и формирование запасов судака Куйбышевского водохранилища в 1963–1971 гг. // *Сб. науч. тр. Тат. отд-ния ФГБНУ «ГосНИОРХ».* – СПб., 2013. – Вып. 13: Гидробиологические и ихтиологические исследования водоемов Среднего Поволжья. – С. 77–151.
12. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. – М.: Наука, 1966. – 327 с.
13. *Никольский Г.В.* Теория динамики стада рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1974. – 447 с.

14. Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 408 с.
15. Терещенко В.Г., Зуянова О.В. Метод оценки относительной численности поколений основных промысловых видов рыб при неполной исходной информации // Биология внутренних вод. – 2006. – № 1. – С. 93–98.
16. Решетников Ю.С., Терещенко В.Г. Анализ равновесного состояния рыбного населения озер на основе его динамического фазового портрета // Усп. соврем. биол. – 2018. – Т. 138, № 6. – С. 538–548. – doi: 10.7868/S0042132418060029.
17. Boznak E.I., Zakharov A.B., Tereshchenko V.G. Effect of the increasing intensity of recreational fishing on the fish assemblage of a watercourse in an economic development zone // Inland Water Biol. – 2019. – V. 12, No 1. – P. 88–95. – doi: 10.1134/S199508291901005X.
18. Tereshchenko V.G., Khrystenko D.S., Kotovska G.O., Tereshchenko L.I. Characteristics of stone moroko population dynamics at different stages of naturalization in lake- and steam-type Dnieper reservoirs // Russ. J. Ecol. – 2016. – V. 47, No 7. – P. 364–370. – doi: 10.1134/S1067413616030140.
19. Reshetnikov Yu.S., Tereshchenko V.G. Quantitative level of research in fish ecology and errors associated with it // Russ. J. Ecol. – 2017. – V. 48, No 3. – P. 233–239. – doi: 10.1134/S1067413617030146.
20. Риклефс Р. Основы общей экологии. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
21. Терещенко В.Г., Вербицкий В.Б. Метод фазовых портретов для анализа динамики структуры сообществ гидробионтов // Биология внутренних вод. – 1997. – № 1. – С. 23–31.
22. Tereshchenko V.G., Buzevich I.Yu., Khrystenko D.S., Tereshchenko L.I. Specific growth rate of kilka *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) populations in Dneprodzerzhinsk and Kremenchug Reservoirs at different phases of its naturalization // Inland Water Biol. – 2015. – V. 8, No 3. – P. 301–308. – doi: 10.1134/S1995082915030141.
23. Tereshchenko V.G., Boznak E.I., Tereshchenko L.I. Dynamic phase portrait: New possibilities of detecting changes in populations // Biosyst. Diversity. – 2019. – V. 27, No 4. – P. 361–366. – doi: 10.15421/011948.
24. Сметанин М.М. Рост рыб как один из показателей состояния популяции // Теоретические аспекты рыбохозяйственных исследований водохранилищ / Отв. ред. А.Г. Поддубный. – Л.: Наука, 1978. – С. 43–54.
25. Лукин А.В. Основные этапы формирования ихтиофауны и состояние запасов рыб. Состояние запасов леща // Экологические особенности рыб и кормовых организмов Куйбышевского водохранилища. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. – С. 5–9.
26. Терещенко В.Г., Кузнецов В.А., Козловский С.В., Шакирова Ф.М. Оценка состояния экосистем внутренних водоемов на основе анализа структурного фазового портрета рыбной части сообщества // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2006. – Т. 148, кн. 1. – С. 35–44.
27. Хузеева Л.М., Гончаренко К.С. Судак // Труды Тат. отд-ния ГосНИОРХ. – Казань, 1972. – Вып. 12: Распределение и численность промысловых рыб Куйбышевского водохранилища и обуславливающие их факторы. – С. 114–125.
28. Кузнецов В.А. Рыбы Волжско-Камского края. – Казань: Идел-пресс, 2005. – 208 с.
29. Chen S., Watanabe S. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics // Nippon Suisan Gakkaishi. – 1989. – V. 55, No 2. – P. 205–208. – doi: 10.2331/suisan.55.205.

30. Шакирова Ф.М., Северов Ю.А. Нерест основных промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища в 2008–2009 годах // Сб. науч. тр. «Природа Симбирского Поволжья». – Ульяновск, 2009. – Вып. 10. – С. 233–237.

Поступила в редакцию  
17.12.2019

---

**Терещенко Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник  
Институт биологии внутренних вод РАН  
п. Борок, Ярославская обл., 152742, Россия  
E-mail: [tervlad@ibiw.yaroslavl.ru](mailto:tervlad@ibiw.yaroslavl.ru)

**Шакирова Фирдауз Мубаракновна**, кандидат биологических наук, заместитель руководителя  
Татарский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»  
ул. Тази Гиззата, д. 4, г. Казань, 420111, Россия  
E-mail: [shakirovafm@gmail.com](mailto:shakirovafm@gmail.com)

**Латыпова Венера Зиннатовна**, доктор химических наук, профессор кафедры прикладной экологии;  
главный научный сотрудник  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук РТ  
ул. Даурская, д. 28, г. Казань, 420087, Россия  
E-mail: [ryvenera@yandex.ru](mailto:ryvenera@yandex.ru)

**Степанова Надежда Юльевна**, доктор биологических наук, заведующий кафедрой прикладной  
экологии  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [step090660@yandex.ru](mailto:step090660@yandex.ru)

**Анохина Ольга Константиновна**, кандидат химических наук, заведующий лабораторией их-  
тиологии  
Татарский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»  
ул. Тази Гиззата, д. 4, г. Казань, 420111, Россия  
E-mail: [nanohin@mail.ru](mailto:nanohin@mail.ru)

doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.445-460

**The Population Status of Pikeperch, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758),  
in the Kuibyshev Reservoir (2000–2018)**V.G. Tereshchenko <sup>a\*</sup>, F.M. Shakirova <sup>b\*\*</sup>, V.Z. Latypova <sup>c,d\*\*\*</sup>,  
N.Yu. Stepanova <sup>c\*\*\*</sup>, O.K. Anokhina <sup>b\*\*\*\*</sup><sup>a</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, 152742 Russia<sup>b</sup>Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar Branch, Kazan, 420111 Russia<sup>c</sup>Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia<sup>d</sup>Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,  
Kazan, 420087 RussiaE-mail: \*tervlad@ibiw.yaroslavl.ru, \*\*shakirovafm@gmail.com, \*\*\*ryvenera@yandex.ru,  
\*\*\*\*step090660@yandex.ru, \*\*\*\*\*nanohin@mail.ru

Received December 17, 2019

**Abstract**

The population status of pikeperch, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), in the Kuibyshev Reservoir was studied for the period from 2000 to 2018. The species is the dominant predator here. The monitoring was based on data on the dynamics of the population size and generations, as well as changes in the age structure, growth rate, and mortality. The obtained results reveal that the pikeperch population oscillated around an equilibrium state in 2000–2007. During this period, its size varied insignificantly. Subsequently, the abundance of specimens increased, and the population became even more balanced, which has been observed up to date. The index of population wellbeing in the equilibrium states has remained unchanged throughout the two decades. However, some negative tendencies have taken place over the past 10 years: an increase in the fishing pressure and a reduction in the number of older specimens in the catches. The approach used in this study should be helpful for assessing the status of fish populations, promoting sustainable fish stock exploitation under the conditions of unstable hydrological regime of reservoirs and weak control over fishing in the conservation of fish resources.

**Keywords:** pikeperch (*Sander lucioperca*), Kuibyshev Reservoir, population, dynamics, structure, status monitoring

**Acknowledgements.** We are grateful to A.O. Mostryukov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia), for designing the Phase 1.0 and Phase 1.1 data processing programs that were used in the construction of a dynamic phase portrait of the actual population and hydrobiont community.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research and by the Government of the Republic of Tatarstan (as part of research project no. 18-44-160023).

**Figure Captions**

Fig. 1. Dynamics of pikeperch catches in the Kuibyshev Reservoir.

Fig. 2. Schematic map of the Kuibyshev Reservoir and the ichthyological stations, ▲ – sampling site.

Fig. 3. Dynamics of the pikeperch population in the Kuibyshev Reservoir (a) and its dynamic phase portrait (b): 1 – source data; 2 – smoothed data; 3 – reference state; 4 – direction of movement; 5 – population status in year given along the curve line; 6 – stable state; 7 – critical point in functioning.

Fig. 4. Linear growth of pikeperch in the Kuibyshev Reservoir during the following periods: 1 – 2000; 2 – 2010; 3 – 2018; 4 – 1960 according to [27].

Fig. 5. Increase in the pikeperch body weight during the following periods: 1 – 2000; 2 – 2010; 3 – 2018; 4 – 1960 according to [27].

- Fig. 6. Equilibrium age structure of the pikeperch population in the Kuibyshev Reservoir: 1 – 2000–2007; 2 – 2011–2018.
- Fig. 7. Averaged age structure of the pikeperch population in the Kuibyshev Reservoir during 2000–2018 (1) and the approximation function of the equilibrium age structure (2).
- Fig. 8. Relative abundance of specimens in the pikeperch generations that emerged in the Kuibyshev Reservoir during 1992–2018.

### References

1. Kuznetsov V.A. Change of the ecosystem of the Kuibyshev Reservoir in the process of its formation. *Water Res.*, 1997, vol. 24, no. 2, pp. 228–233.
2. Vašek M., Kubečka J., Čech M., Drašík V., Matěna J., Mrkvička T., Peterka J., Prchalová M. Diel variation in gillnet catches and vertical distribution of pelagic fishes in a stratified European reservoir. *Fish. Res.*, 2009, vol. 96, no. 1, pp. 64–69. doi: 10.1016/j.fishres.2008.09.010.
3. Shakirova F.M. Present-day condition of ichthyofauna in reservoirs of Turkmenistan. In: Zonn I., Kostianoy A. (Eds.) *The Turkmen Lake Altyn Asyr and Water Resources in Turkmenistan. The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 28. Berlin, Heidelberg, Springer, 2014, pp. 233–259.
4. Karpevich A.F. *Teoriya i praktika akklimatizatsii vodnykh organizmov* [Theory and Practice of Acclimatization of Aquatic Organisms]. Moscow, Pishch. Prom-st', 1975. 432 p. (In Russian)
5. Kuznetsov V.A., Grigor'ev V.N., Galanin I.F., Kuznetsov V.V. Commercial and biological characteristics of the pikeperch *Sander lucioperca* in the Upper Volga reach of the Kuibyshev Reservoir. *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2012, vol. 14, no. 1, pp. 1894–1897. (In Russian)
6. Anokhina O.K., Govorkov V.I., Gorshkov M.A., Akhmetzhanov D.R., Govorkova L.K. The current state of water bioresources in the Kuibyshev Reservoir. In: *Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennikh vodoemov i puti ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya: Materialy dokl. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu Tatarskogo otd-niya GOSNIORKH* [Current State of Bioresources of Inland Water Bodies and Ways of Their Sustainable Use: Proc. All-Russ. Conf. Int. Participation Dedicated to the 85th Anniversary of the Tatar Branch of the State Research Institute on Lake and River Fisheries]. Kazan, 2016, pp. 59–64. (In Russian)
7. Kovaleva M.P. Catches and fish productivity of reservoirs in the USSR. In: *Rybkhozyaistvennoe izuchenie vnutrennikh vodoemov* [Fishery Studies of Inland Water Bodies]. Leningrad, Izd. GosNIORKh, 1972, no. 11, pp. 38–46. (In Russian)
8. Luzanskaya D.I. Commercial fishing in lakes, rivers, and reservoirs of the USSR during 1959–1966. *Izv. Gos. Nauchn.-Issled. Inst. Ozern. Rechn. Rybn. Khoz.*, 1970, vol. 70: Problems of state and collective fish farming economics for reservoirs, lakes, and rivers, pp. 3–137. (In Russian)
9. Shimanovskaya L.N., Chistobaeva R.Ya., Tanasiichuk L.N., Novikova G.A. Fishery exploration of inland reservoirs in the USSR during 1971–1975. *Izv. Gos. Nauchn.-Issled. Inst. Ozern. Rechn. Rybn. Khoz.*, 1977, vol. 126: The state of fish farming in inland reservoirs and methods for forecasting fish stocks, pp. 3–62. (In Russian)
10. Karpova E.I., Petr T., Isaev A.I. *Reservoir Fisheries in the Countries of the Commonwealth of Independent States: FAO Fisheries Circular No. 915*. Rome, FAO, 1996. 131 p.
11. Khuzeeva L.M. Pikeperch biology and stock formation in the Kuibyshev Reservoir during 1963–1971. *Sb. Nauchn. Tr. Tatar. Otd. FGBNU "GosNIORKh"*. St. Petersburg, 2013, no. 13: Hydrobiological and ichthyological research on water bodies in the Middle Volga region, pp. 77–151. (In Russian)
12. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Manual on Fish Study]. Moscow, Nauka, 1966. 327 p. (In Russian)
13. Nikol'skii G.V. *Teoriya dinamiki stada ryb* [The Theory of Fish Stock Dynamics]. Moscow, Pishch. Prom-st', 1974. 447 p. (In Russian)
14. Riker U.E. *Metody otsenki i interpretatsii biologicheskikh pokazatelei populyatsii ryb* [Methods for the Assessment and Interpretation of Biological Characteristics of Fish Populations]. Moscow, Pishch. Prom-st', 1979. 408 p. (In Russian)
15. Tereshchenko V.G., Zuyanova O.V. The method for assessing the relative abundance of commercial fish species generations under the conditions of incomplete initial information. *Biol. Vnutr. Vod*, 2006, no. 1, pp. 93–98. (In Russian)

16. Reshetnikov Yu.S., Tereshchenko V.G. Analysis of the equilibrium state of lake fish community based on its dynamic phase portrait. *Biol. Bull. Rev.*, 2019, vol. 9, no. 4, pp. 333–342. doi: 10.1134/S2079086419040066.
17. Boznak E.I., Zakharov A.B., Tereshchenko V.G. Effect of the increasing intensity of recreational fishing on the fish assemblage of a watercourse in an economic development zone. *Inland Water Biol.*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 88–95. doi: 10.1134/S199508291901005X.
18. Tereshchenko V.G., Khrystenko D.S., Kotovska G.O., Tereshchenko L.I. Characteristics of stone moroko population dynamics at different stages of naturalization in lake- and steam-type Dnieper reservoirs. *Russ. J. Ecol.*, 2016, vol. 47, no. 7, pp. 364–370. doi: 10.1134/S1067413616030140.
19. Reshetnikov Yu.S., Tereshchenko V.G. Quantitative level of research in fish ecology and errors associated with it. *Russ. J. Ecol.*, 2017, vol. 48, no. 3, pp. 233–239. doi: 10.1134/S1067413617030146.
20. Ricklefs R. *Osnovy obshchei ekologii* [The Economy of Nature]. Moscow, Mir, 1979. 424 p. (In Russian)
21. Tereshchenko V.G., Verbitsky V.B. The method of phase portraits for analyzing the structural dynamics of hydrobiont communities. *Biol. Vnutr. Vod.*, 1997, no. 1, pp. 23–31. (In Russian)
22. Tereshchenko V.G., Buzevich I.Yu., Khrystenko D.S., Tereshchenko L.I. Specific growth rate of kilka *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) populations in Dneprodzerzhinsk and Kremenchug Reservoirs at different phases of its naturalization. *Inland Water Biol.*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 301–308. doi: 10.1134/S1995082915030141.
23. Tereshchenko V.G., Boznak E.I., Tereshchenko L.I. Dynamic phase portrait: New possibilities of detecting changes in populations. *Biosyst. Diversity*, 2019, vol. 27, no. 4, pp. 361–366. doi: 10.15421/011948.
24. Smetanin M.M. Fish growth as an indicator of the population state. In: *Teoreticheskie aspekty rybnokhozyaistvennykh issledovaniy vodokhranilishch* [Theoretical Aspects of Fishery Studies of Reservoirs]. Poddubnyi A.G. (Ed.). Leningrad, Nauka, 1978, pp. 43–54. (In Russian)
25. Lukin A.V. The main stages of ichthyofauna formation and the state of fish stocks. Bream stocks. In: *Ekologicheskie osobennosti ryb i kormovykh organizmov Kuibyshevskogo vodokhranilishcha* [Ecological Characteristics of Fishes and Forage Organisms in the Kuibyshev Reservoir]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1986, pp. 5–9. (In Russian)
26. Tereshchenko V.G., Kuznetsov V.A., Kozlovsky S.V., Shakirova F.M. Assessment of the state of ecosystems of inland waters on the basis of analysis of the structural phase portrait of fish assemblage. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2006, vol. 148, no. 1, pp. 35–44. (In Russian)
27. Khuzeeva L.M., Goncharenko K.S. Zander. *Tr. Tatar. Otd. GosNIORKh*, 1972, no. 12: Spatial distribution and abundance of commercial fish in the Kuibyshev Reservoir and factors that determine them, pp. 114–125. (In Russian)
28. Kuznetsov V.A. *Ryby Volzhsko-Kamskogo kraya* [Fishes of the Volga-Kama Region]. Kazan, Idel-Press, 2005. 208 p. (In Russian)
29. Chen S., Watanabe S. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, vol. 55, no. 2, pp. 205–208. doi: 10.2331/suisan.55.205.
30. Shakirova F.M., Severov Yu.A. Spawning of the main commercial fish species of the Kuibyshev Reservoir in 2008–2009. In: *Priroda Simbirskogo Povolzh'ya* [Nature of Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk, 2009, no. 10, pp. 233–237. (In Russian)

**Для цитирования:** Терещенко В.Г., Шакирова Ф.М., Латыпова В.З., Степанова Н.Ю., Анохина О.К. Состояние популяции судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) Куйбышевского водохранилища (2000–2018 гг.) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2020. – Т. 162, кн. 3. – С. 445–460. – doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.445-460.

**For citation:** Tereshchenko V.G., Shakirova F.M., Latypova V.Z., Stepanova N.Yu., Anokhina O.K. The population status of pikeperch, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), in the Kuibyshev Reservoir (2000–2018). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2020, vol. 162, no. 3, pp. 445–460. doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.445-460. (In Russian)